温度对西花蓟马生长发育、繁殖和种群增长的影响

张治军[1,2], 张友军[1], 徐宝云[1], 朱国仁[1], 吴青君[1,*]
(1. 中国农业科学院蔬菜花卉研究所, 北京 100081; 2. 浙江省农业科学院植物保护与微生物研究所, 杭州 310021)

摘要: 西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* (Pergande)是一种入侵我国的重要害虫, 温度是决定蓟马能否建立稳定种群的最基本因素。为明确温度对西花蓟马种群增长的影响, 本研究在室内观察了西花蓟马在 15℃, 20℃, 25℃, 30℃和35℃温度条件下的生长发育、存活与繁殖能力, 并计算各温度条件下的种群增长参数。结果表明: 在35℃条件下, 西花蓟马不能完成发育, 其他温度条件下西花蓟马从卵孵化至蛹羽化成成虫, 以20℃条件下的存活率最高, 为62.8%。西花蓟马发育速率随温度升高明显加快, 在 15℃下, 完成发育需要近 30 d; 而在 30℃下, 西花蓟马完成发育仅需 10 d 左右。西花蓟马成虫寿命随温度的升高而明显缩短, 在15℃下, 平均寿命为36 d, 最长寿命达60 d; 在 30℃下, 西花蓟马的平均寿命为 10 d。西花蓟马在 15℃, 20℃和 25℃条件下的平均繁殖力差异不显著, 分别为37.70, 32.56, 37.80 头 1 龄若虫/雌, 但显著高于 30℃条件下的平均繁殖力(9.36 头 1 龄若虫/雌)。西花蓟马的种群增长参数净生殖率(R_0)、内禀增长率(r_m), 在25℃时达最高值, 分别为20.10 和0.178 d^{-1}, 而在15℃下分别仅为18.67 和0.096 d^{-1}。据此得出, 20 ~25℃是最适宜西花蓟马生长发育和繁殖温度范围, 温度过高或过低都不利于西花蓟马种群增长。西花蓟马的发育起点温度为7.4℃, 充分完成发育所需的有效积温为 208.0 日・度。不考虑其他阻碍生长发育因素的情况下, 华南、华中、华北和东北地区的年发生代数分别为 24 ~26, 16 ~18, 13 ~14 和 1 ~4 代, 西南地区昆明与丽江分别为 13 ~15 和 8 ~10 代。

关键词: 西花蓟马; 温度; 发育起点温度; 有效积温; 种群增长; 年发生代数
中图分类号: Q968 **文献标识码**: A **文章编号**: 0454-6296(2012)10-1168-10

Effects of temperature on development, reproduction and population growth of the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae)

ZHANG Zhi-Jun[1,2], ZHANG You-Jun[1], XU Bao-Yun[1], ZHU Guo-Ren[1], WU Qing-Jun[1,*] (1. Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 2. Institute of Plant Protection and Microbiology, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China)

Abstract: The western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande), is an invasive pest in China. Temperature is a key determinant for the stable establishment of thrips population in a new environment. In order to know the effects of temperature on the population growth of the western flower thrips, we investigated the development, survivorship and reproduction of *F. occidentalis* at different temperatures (15, 20, 25, 30 and 35℃), and calculated the parameters of population increase under different temperature conditions. The results indicated that the survivorship of *F. occidentalis* from egg-hatch to adult was the highest (62.8%) at 20℃, but no individual developed into adult at 35℃. The development rate increased significantly with rising temperature, the average developmental duration from egg to adult stage was about 30 d at 15℃, while the shortest was about 10 d at 30℃. The adult longevity was evidently shortened with rising temperature, at 15℃ the average lifespan was 36 d, the longest adult longevity even reached more than 60 d, while at 30℃ the shortest was only 10 d. The differences of fecundity (total number of the 1st instar nymphs produced by individual female) were not significant among 15, 20 and 25℃, with the values of 37.70, 32.56 and 37.80, respectively, which were all higher than that of the thrips at 30℃ (9.36 1st instar nymphs produced by individual female). The

基金项目: 国家"973"计划项目(2009CB119004); 北京市自然科学基金项目(6092018); 公益性(农业)行业科技专项(201103026); 国家科技支撑计划课题(2012BAD19B06)
作者简介: 张治军, 男, 1976 年4 月生, 湖南邵阳人, 博士, 助理研究员, 主要从事农业昆虫与害虫防治研究, E-mail: zhijunzhanglw@hotmail.com
* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: wuqj@mail.caas.net.cn
收稿日期 Received: 2012-07-11; 接受日期 Accepted: 2012-09-18

parameters of population growth [the intrinsic rate of increase (r_m) and the net reproductive rate (R_0)] were the highest at 25℃, with the values of 0.178 and 20.10 d^{-1}, respectively, while those at 15℃ were only 0.096 and 18.67 d^{-1}, respectively. From these results we concluded that temperature has great effect on the development of *F. occidentalis*, and the most suitable temperature range for this pest is 20 – 25℃, during which the intrinsic increase rate is higher. The development threshold temperature of *F. occidentalis* was estimated to be 7.4℃ and the effective accumulated temperature for development was 208.0 degree-days. In South China, Central China, North China and Northeast China, the estimated numbers of generations per year are 24 – 26, 16 – 18, 13 – 14 and 1 – 4, respectively, without consideration of other factors influencing the development and growth of the thrips. Especially in Kunming and Lijiang, Yunnan in Southwest China, the estimated number of generations per year are 13 – 15 and 8 – 10, respectively.

Key words: *Frankliniella occidentalis*; temperature; development threshold temperature; effective accumulated temperature; population growth; number of generations per year

西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* (Pergande) 是世界范围分布的危险性入侵害虫(Kirk and Terry, 2003)。我国最早于 2003 年在北京发现(张友军等, 2003)，现已扩散至云南、山东和浙江等 14 省市，尤以云南和北京两地危害最为严重，在全国呈快速蔓延趋势(吕要斌等, 2011)。西花蓟马食性杂，在 62 科 500 多种植物上直接取食危害(Loomans and van Lenteren, 1995; Moritz, 2002)，同时西花蓟马是番茄斑萎病毒属病毒的传播媒介，其中最重要的是凤仙花坏死斑病毒(impatiens necrotic spot virus, INSV)和番茄斑萎病毒(tomato spotted wilt virus, TSWV)(German *et al*., 1992; Ullman *et al*., 1997)。该类病毒侵染 600 多种花卉和蔬菜植物(Daughtrey *et al*., 1997; Whitfield *et al*., 2005)，在国内外造成严重经济损失(Riley *et al*., 2011; Hu *et al*., 2011)。

温度是决定蓟马能否建立稳定种群的最基本因素(McDalnond *et al*., 1998; Murai, 2000)，并且不同地理种群随着生境的改变对不同环境的适应性呈现出差异(Kirk and Terry, 2003)。有关温度对西花蓟马生长发育和存活影响以及西花蓟马对不利温度的耐受性研究受到广泛关注(van Rijn *et al*., 1995; McDalnond *et al*., 1997a, 1997b, 1997c; McDalnond *et al*., 1998; Ishida *et al*., 2003; 刘丽辉等, 2008; 李景柱等, 2011; 李鸿波等, 2011)。而有关温度对西花蓟马种群增长的影响，仅国外有少量报道(Gaum *et al*., 1994)。根据相关报道分析蓟马生长发育速度与温度存在明显的线性关系(McDalnond *et al*., 1998, 1999; Murai, 2000)，随着温度升高而明显加快。蓟马的生长发育、繁殖能力和种群增长除了跟温度相关以外，还受寄主植物种类、品种的影响(Robb, 1989; Brodgaard, 1989; Mollema *et al*., 1990; Lowry *et al*., 1992; Gaum *et al*., 1994)。本研究以我国西花蓟马最适宜寄主植物黄瓜 *Cucumis sativus* (Linn.)(品种为中农 8 号)叶为食物(Zhang *et al*., 2007)，研究梯度温度对西花蓟马发育历期、存活、成虫寿命、雌虫产卵和种群增长动态参数等生物学指标的影响，并计算出西花蓟马生长发育起点温度和有效积温，根据我国昆虫地理区划(章士美, 1998)结合华南、华中、华北、西南和东北地区气象资料(月平均气温)计算并推测该害虫在不同地区发生的可能性和可能发生代数，为西花蓟马在我国不同地区发生的预测预报和制定有效防控措施提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试虫

西花蓟马：2003 年于北京市海淀区中国农业科学院蔬菜花卉研究所生产基地采集成虫，在室内产卵于四季豆 *Phaseolus vulgaris* L. 豆荚上，孵化出的 1 龄若虫、2 龄若虫、预蛹、蛹和成虫都继续用四季豆饲养于养虫室内，饲养条件为：温度 27 ± 1℃，相对湿度 75% ± 5%，光周期 16L: 8D。

1.2 寄主植物

黄瓜 *C. sativus* 品种为中农 8 号，将种子播种于温室(温度 27 ± 1℃，相对湿度 75% ± 5%，光周期 12L: 12D)，温室保持无害虫危害状态，待 2 ~ 3 片真叶时供试。

1.3 室内不同温度下西花蓟马饲养和生物学指标观察

本研究调查了西花蓟马在 15, 20, 25, 30 和

35℃条件下的生长发育、存活和繁殖能力。

1.3.1 生长发育和未成熟期的存活：每处理剪取黄瓜叶片2片，用湿润的棉花团缠住叶柄保湿，放置于含200头以上西花蓟马成虫的养虫缸内，让成虫在叶片上产卵12 h。然后去除叶片上的成虫，将带卵的叶片转入5个大玻璃培养皿(直径15 cm)，然后把培养皿分别置于温度为15，20，25，30和35℃，光周期16L:8D的培养箱内(宁波江南制造厂生产的RXZ型人工气候箱，误差为±1℃)，直到孵化出若虫。挑取西花蓟马1龄若虫单头饲养于小塑料培养皿(直径4.0 cm)，培养皿内装有润湿的滤纸片和直径为1.5 cm的叶片，培养皿口用Parafilm膜盖住，以防西花蓟马逃逸。每个处理观察40～80头若虫，每头若虫为一个重复，每24 h更换新鲜叶片，观察发育历期并记录存活情况，直到若虫死亡或发育成成虫，卵的历期记录为从成虫产卵至卵孵出若虫的时间。

1.3.2 成虫寿命、繁殖能力以及子代性比：15，20，25和30℃温度条件下蛹羽化成成虫后，每个处理配对10～20对雌雄成虫，每对成虫放置于玻璃管(直径为3.0 cm，高4.0 cm)，管内装有新鲜的叶片(直径为1.5 cm)，两端用Parafilm膜封上。每24 h更换叶片并记录成虫的存活情况，更换出来的叶片分别置于内装有润湿滤纸片的培养皿(直径4 cm)中，皿口用Parafilm膜盖封住，直至卵全部孵化成若虫，用孵化出的1龄若虫数表示成虫的繁殖能力(Watts，1934)。利用与1.3.1相同的方法饲养子代到成虫，分别记录子代的雌虫和雄虫数，估计子代的雌雄比。35℃条件下西花蓟马未能完成发育，无此项观察。

1.4 数据分析

西花蓟马在不同温度条件下各虫态发育历期、成虫寿命、产卵量、产卵速率和子代雌雄性比，应用SAS软件(SAS Institute，1996)进行方差分析(ANOVA，$P<0.05$)，并进行Turkey氏测验。计算生活史参数方法参照Birch(1948)方法：净生殖率 $R_0 = \sum L_x m_x$，内禀增长率 $r_m = \mathrm{Ln}R_0/T$，周限增长率 $\lambda = e^{r_m}$ 和平均世代历期 $T = \sum xL_x m_x/R_0$。参照McDonald等(1998)方法通过直线回归拟合西花蓟马发育速度和温度的关系，并计算西花蓟马发育起点温度 C，各虫态发育有效积温和从卵发育到成虫有效积温 A，以及结合我国华南(广州)、西南(昆明、丽江)、华中(武汉)、华北(北京)和东北(沈阳)1997－2006年的历史气象资料(月平均气温，中国国家气象局气象资料信息中心提供)推测各地可能年发生代数。

2 结果与分析

2.1 不同温度条件下西花蓟马生长发育与存活

在35℃下，西花蓟马能从卵正常发育至1龄若虫，但到2龄若虫末期全部死亡。卵期为2.01 d，与30℃的2.56 d无显著差异，1龄若虫期1.78 d，与25℃和30℃的发育历期亦无显著差异。在15～30℃温度范围内，西花蓟马不同虫态的发育速率随温度的升高而明显加快，发育历期随温度升高而显著缩短(表1)。15℃西花蓟马卵期长达10.40 d；1龄若虫期为4.42 d，是30℃时的3.2倍；2龄若虫期为6.81 d，比30℃延长约4.00 d；各温度下预蛹期均比较短，为0.81～2.23 d；而蛹期差异显著，15℃长达5.02 d，比30℃延长近3 d。在15，20，25和30℃条件下，西花蓟马未成熟期(从卵到羽化成成虫)分别为28.89，16.01，11.12和9.44 d。不同温度条件下西花蓟马不同虫态存活率明显不同(表2)，35℃下，1龄若虫的存活率为61.3%，与30℃差异不大，但显著低于20℃下的93.0%。15～30℃温度范围内，从卵孵化至蛹羽化成成虫以20℃条件下的存活率最高为62.8%，而30℃时最低，仅40.0%。

2.2 不同温度条件下西花蓟马各虫态的发育速率

西花蓟马不同虫态发育速率跟温度之间的关系利用直线回归拟合，结果见表3和图1。各个虫态的发育速率随温度升高而加快，相关系数 R 值，除预蛹期以外均较高，说明在15～30℃温度梯度内，西花蓟马各虫态(除预蛹期以外)发育速率与温度呈明显直线相关关系($P<0.05$)。西花蓟马从卵到成虫的未成熟期发育速率与温度的关系亦呈明显线性关系。

2.3 西花蓟马不同虫态发育起点温度和有效积温

如表3所示，卵、1龄若虫、2龄若虫、预蛹和蛹的发育起点温度 C 分别为10.2，6.2，5.6，3.5和7.8℃，有效积温 A 分别为50.0，32.3，62.5，19.6和47.6日·度。西花蓟马从卵到成虫的未成熟期发育起点温度 C 为7.4℃，有效积温 A 为208.0日·度。

根据我国华南(广州)、西南(昆明、丽江)、华中(武汉)、华北(北京)和东北(沈阳)各点1997－

表 1 不同温度条件下西花蓟马的发育历期

Table 1 Developmental duration of *Frankliniella occidentalis* at different temperatures

温度(℃) Temperature	发育历期 Developmental duration (d)		
	卵 Egg	1 龄若虫 1st instar nymph	2 龄若虫 2nd instar nymph
15	10.40 ± 0.50(80) a	4.42 ± 0.09(80) a	6.81 ± 0.33(57) a
20	5.14 ± 0.12(43) b	2.01 ± 0.08(43) b	4.33 ± 0.17(40) b
25	3.13 ± 0.10(46) c	1.89 ± 0.07(46) c	2.66 ± 0.25(35) c
30	2.56 ± 0.30(60) d	1.38 ± 0.09(60) cd	2.75 ± 0.27(36) cd
35	2.01 ± 0.45(49) d	1.78 ± 0.55(49) c	*
F	78.9	38.49	165.05
d.f	4, 273	4, 273	3, 164
P	0.0001	0.0001	0.0001
温度(℃) Temperature	发育历期 Developmental duration (d)		
	预蛹 Pre-pupa	蛹 Pupa	未成熟期 Pre-adult
15	2.23 ± 0.10(52) a	5.02 ± 0.06(44) a	28.89 ± 0.32(44) a
20	1.00 ± 0.08(37) b	3.52 ± 0.10(27) b	16.01 ± 0.04(27) b
25	0.85 ± 0.06(33) bc	2.54 ± 0.04(24) c	11.12 ± 0.03(24) c
30	0.81 ± 0.08(33) cd	1.94 ± 0.14(24) d	9.44 ± 0.15(24) d
35	*	*	*
F	67.82	333.17	265.34
d.f	3, 151	3, 115	3, 115
P	0.0001	0.0001	0.0001

表中数据为平均值 ± 标准误，括号中数值为测试虫数，同一列中的数据后不同字母表示差异显著($P < 0.05$，Turkey 氏检验)。Data in the table are mean ± *SE*, those in parentheses are the number of test insects and values within the same column followed by different letters are significantly different ($P < 0.05$, Turkey's test). * 因 35℃条件下西花蓟马于 2 龄若虫期全部死亡，无法统计 No census was made, because all 2nd instar nymphs were dead at 35℃. 下同 The same below.

2006 年的历史气象资料(月平均气温)，计算出各点的有效积温和西花蓟马在各点最多可能发生的代数(表 4)。结果发现，随着纬度升高，西花蓟马可能发生代数急剧下降，在华南广州每年最多可发生 24 ~ 26 代，而在东北沈阳每年最多仅可发生 1 ~ 4 代。不同海拔地区西花蓟马可能发生代数也明显不同，在西南地区云南昆明可发生 13 ~ 15 代，而在云南丽江最多仅发生 8 ~ 10 代。

2.4 不同温度条件下西花蓟马成虫寿命、繁殖能力及子代种群性比

西花蓟马成虫寿命在 15 ~ 30℃温度范围内，随温度的升高而明显缩短(表 5)。在 15℃下，平均寿命为 36.05 d，最长寿命高达 60 d；在 30℃下，西花蓟马的平均寿命仅 10.05 d。西花蓟马在 15℃，20℃和 25℃条件下的平均繁殖力没有明显差异，分别为 37.70，32.56 和 37.80 头 1 龄若虫/雌，但在以上条件下的平均繁殖能力显著高于 30℃条件下的平均繁殖力 9.36 头 1 龄若虫/雌。西花蓟马在 25℃和 20℃时的繁殖速率明显高于 30℃和 15℃条件下的繁殖速率($P < 0.01$)，其值分别为 2.62 和 2.10 以及 0.94 和 1.05 头 1 龄若虫/雌 · 天。25℃和 20℃下，西花蓟马的雌虫所占比例明显高于 30℃和 15℃($P < 0.05$)。

2.5 不同温度条件下西花蓟马种群增长参数

如表 6 所示，不同温度条件下，西花蓟马的种群增长参数(R_0，r_m)以 25℃时最高，分别为 20.1 和 0.178 d^{-1}，而在 15℃条件下值最小，分别为 18.67 和 0.096 d^{-1}。平均世代历期则随着温度升高显著缩短。

表 2 不同龄期西花蓟马在不同温度条件下存活率

Table 2 Survival rates of different stages of *Frankliniella occidentalis* at different temperatures

温度(℃) Temperature	存活率 Survival rate (%)					
	卵 Egg	1 龄若虫 1st instar nymph	2 龄若虫 2nd instar nymph	预蛹 Pre-pupa	蛹 Pupa	未成熟期 Pre-adult
15	–	71.3	91.2	84.6	97.7	55.0
20	–	93.0	92.5	73.0	85.2	62.8
25	–	76.1	94.3	72.7	87.5	52.2
30	–	60.0	91.7	72.7	83.3	40.0
35	–	61.3	0	*	*	*

–：由于无法记录起始卵量，所以未统计存活率 We did not analyze the survival rates of eggs because we could not record the initial number of eggs.

表 3 西花蓟马不同虫态发育速率与温度的关系模型和发育起点温度及有效积温

Table 3 Regression equation between development rate and temperature, and development threshold temperature and effective accumulated temperature for each developmental stage of *Frankliniella occidentalis*

虫态 Stage	回归方程 Regression equation	相关系数 Correlation coefficient R^2	发育起点温度(℃) Development threshold temperature	有效积温(日・度) Effective accumulated temperature (degree-days)
卵 Egg	$y = 0.0202x - 0.2036$	0.9901 ($P < 0.01$)	10.2	50.0
1 龄若虫 1st instar nymph	$y = 0.0305x - 0.1927$	0.9241 ($P < 0.05$)	6.2	32.3
2 龄若虫 2nd instar nymph	$y = 0.0159x - 0.0786$	0.8705 ($P < 0.05$)	5.6	62.5
预蛹 Pre-pupa	$y = 0.0519x - 0.2066$	0.8286 ($P = 0.08$)	3.5	19.6
蛹 Pupa	$y = 0.0212x - 0.1282$	0.9938 ($P < 0.01$)	7.8	47.6
卵至成虫 Egg to adult	$y = 0.0048x - 0.0356$	0.9861 ($P < 0.01$)	7.4	208.0

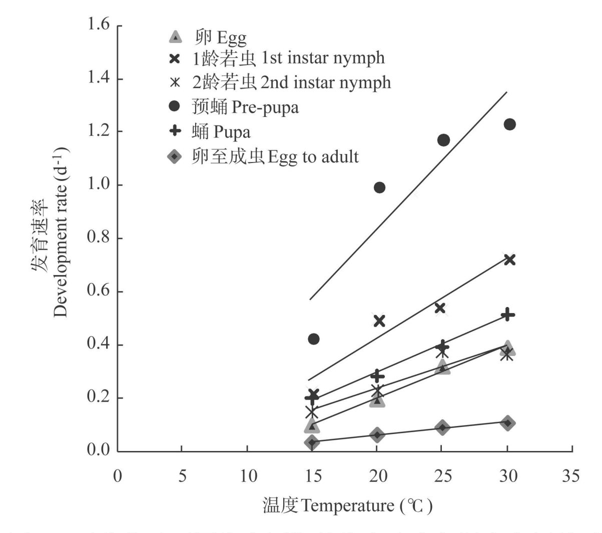


图 1 西花蓟马不同发育历期的发育速度与温度之间关系

Fig. 1 Relationship between temperature and development rate of *Frankliniella occidentalis* at different stages

3 讨论

本实验结果表明，温度对西花蓟马的生长发育、繁殖和种群增长具有明显影响，不同虫态对温度的适应性有显著差异。在 35℃高温下，西花蓟马不能够完成发育，说明高温对种群的生长发育极为不利，这与已有的研究结果一致(Mollema *et al.*, 1990; McDalnond *et al.*, 1998)，异常高温或低温条件下西花蓟马各虫态存活明显降低(盖海涛等, 2010)。本研究西花蓟马在 15, 20, 25 和 30℃条件下，于黄瓜品种中农 8 号叶上的未成熟期(卵到蛹羽化成成虫)，比在相应条件下于黄瓜品种 Pepinex 叶(Gaum *et al.*, 1994) 和菊花叶(Mcdalnond *et al.*, 1998)上都短(表 7)，说明寄主植物种类对西花蓟马生长发育产生明显影响(Gaum *et al.*, 1994; Zhang *et al.*, 2007)。本研究结果发现，西花蓟马种群增长适宜温区是 20 ~ 25℃，在 20 和 25℃内禀增长率都高于 15 和 30℃的内禀增长率(表 6)，这与西花蓟马在我国的发生危害最严重是云南昆明及其周围地区的事实相符(吕要斌等, 2011)，该地区一年四季如春，温度在 20℃左右。Gaum 等(1994)报道西花蓟马种群增长趋势最快是在 30℃条件，原因可能是西花蓟马在该研究中的繁殖能力普遍较低，30℃条件下最高，平均每雌仅 10.65 头子代蓟马产生，而本研究结果发现，西花蓟马在 30℃条件下的繁殖能力是最低的，平均多达 9.36 头/雌，其他温度条件下繁殖能力都超过平均 30 头/雌(表 5)。本研究结果表明西花蓟马未成熟期的发育速率与温度呈明显线性关系，与已有的研究结果一致(McDonald *et al.*, 1998, 1999; Murai, 2000)(表 8)。根据线性模型估计西花蓟马的发育起点温度为 7.4℃，而充分完成发育所需的有效积温为 208.0 日・度，分别与 Robb(1989)报道于菊花叶上的 10.0℃和 213 日・度，Lowry 等(1992)报道于花生

表 4　中国不同地区高于 7.4℃的有效积温(日・度)和西花蓟马在不同地区最多可能发生代数(1997 – 2006)

Table 4　The number of degree-days (above 7.4℃) available and the estimated maximum number of generations of *Frankliniella occidentalis* that could occur in the field annually between 1997 and 2006 in different areas in China

地区 Area	地点 Locality	指标 Index	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
华南区 South China	广州 Guangzhou	有效积温 Effective accumulated temperature	5 331	5 652	5 536	5 517	5 545	5 704	5 710	5 649	5 627	5 783
		发生代数 Generations	24.2	25.7	25.2	25.1	25.2	25.9	26.0	25.7	25.6	26.3
西南区 Southwest China	昆明 Kunming	有效积温 Effective accumulated temperature	2 925	3 334	3 312	3 020	3 163	3 209	3 331	3 016	3 398	3 291
		发生代数 Generations	13.3	15.2	15.1	13.7	14.4	14.6	15.1	13.7	15.4	15.0
	丽江 Lijiang	有效积温 Effective accumulated temperature	1 842	2 153	2 309	1 879	2 053	2 047	2 227	2 010	2 318	2 477
		发生代数 Generations	8.4	9.8	10.5	8.5	9.3	9.3	10.1	9.1	10.5	11.3
华中区 Central China	武汉 Wuhan	有效积温 Effective accumulated temperature	3 712	3 938	3 736	3 770	3 889	3 892	3 694	3 977	3 806	3 996
		发生代数 Generations	16.9	17.9	17.0	17.1	17.7	17.7	16.8	18.0	17.3	18.1
华北区 North China	北京 Beijing	有效积温 Effective accumulated temperature	2 928	2 907	2 901	3 060	3 035	2 885	2 907	2 946	3 081	3 013
		发生代数 Generations	13.3	13.2	13.1	13.9	13.8	13.1	13.2	13.4	14.0	13.7
东北区 Northeast China	沈阳 Shenyang	有效积温 Effective accumulated temperature	540	854	583	336	357	702	637	802	238	320
		发生代数 Generations	2.5	3.9	2.6	1.5	1.6	3.2	2.9	3.6	1.1	1.5

表 5 西花蓟马于不同温度条件下的成虫寿命、繁殖能力、繁殖速率和性比

Table 5 Longevity, fecundity, oviposition rate and sex ratio of *Frankliniella occidentalis* at different temperatures

温度(℃) Temperature	成虫寿命(d) Adult longevity	生殖力(1龄若虫数/雌) Fecundity (number of the 1st instar nymphs/female)	生殖率(1龄若虫数/雌·d) Fecundity rate (number of the 1st instar nymphs/female·d)	性比(总雌虫数/总成虫数) Sex ratio (number of female adults/total number of adults)
15	36.05 ±3.92(43) a	37.70 ±4.53(27) a	1.05 ±0.02(27) c	0.41 ±0.01(27) b
20	15.48 ±2.00(23) b	32.56 ±4.84(16) a	2.10 ±0.00(16) b	0.50 ±0.03(16) a
25	14.43 ±1.00(21) b	37.80 ±3.02(15) a	2.62 ±0.04(15) ab	0.55 ±0.09(15) a
30	10.05 ±0.85(20) c	9.36 ±1.19(11) b	0.94 ±0.01(11) c	0.44 ±0.01(11) b
F	15.20	6.89	10.46	49.09
d.f	3,103	3,65	3,65	3,65
P	0.0001	0.0004	0.009	0.034

表 6 西花蓟马于不同温度条件下的生活史参数

Table 6 Life history parameters of *Frankliniella occidentalis* at different temperatures

温度(℃) Temperature	净生殖率 Net reproduction rate R_0	内禀增长率 Intrinsic rate of increase r_m	周限增长率 Finite rate of increase λ	平均世代历期 Mean generation time T
15	18.67	0.096	1.10	30.34
20	20.00	0.172	1.18	17.43
25	20.10	0.178	1.19	16.84
30	13.67	0.156	1.17	16.60

表 7 西花蓟马于不同条件下的未成熟期比较

Table 7 The comparison of the duration of pre-adult at different conditions

温度梯度(℃) Temperature gradient	黄瓜中农 8 号 Cucumber var. Zhongnong 8 (本研究 This study)	黄瓜 Pepinex Cucumber var. Pepinex (Gaum *et al.*, 1994)	菊花 Chrysanthemum (McDalnond *et al.*, 1998)
10	–	–	118.6 ±1.8
15	28.89 ±0.32(44)	47.96 ±0.54	37.1 ±0.7
18	–	28.44 ±0.29	–
20	16.01 ±0.04(27)	21.85 ±0.23	21.6 ±0.2
23	–	15.77 ±0.12	–
25	11.12 ±0.03(24)	14.71 ±0.14	15.9 ±0.4
30	9.44 ±0.15(24)	11.49 ±0.10	11.8 ±0.2

–：无相应温度设置 Without the temperature set. 表 8 同 The same for Table 8.

Arachis hypogaea 叶上的 6.5℃ 和 253.9 日·度，Gaum 等(1994)报道于黄瓜品种 Pepinex 叶上的 9.4℃和 240 日·度，McDalnond 等(1998)报道于菊花叶上的 7.9℃ 和 268 日·度以及刘丽辉等(2008)报道于菜豆叶上的 6.23℃和 219.73 日·度不同(表 8)。原因可能一方面与实验所设定的温度范围不同有关，另一方面与实验用寄主植物种类、品种、昆虫种群和光照条件不同有关(McDalnond *et al.*, 1998)。我们可以直接应用线性模型来预测西花蓟马的田间实际发生情况(McDalnond *et al.*, 1998)。结合室外田间的实际温度数据(排除其他不利于西花蓟马生长发育因素)以黄瓜中农8号为

表 8 不同研究中的结果比较

Table 8 Comparison of results from different study

对象 Target	温度梯度(℃) Temperature gradient	寄主植物 Host plants	发育速率与温度关系 Relationship of development rate and temperature	发育起点温度(℃) Development threshold temperature	有效积温(日·度) Effective accumulated temperature (degree-days)	文献 References
西花蓟马 *Frankliniella occidentalis*	15, 20, 25, 30, 35	黄瓜中农 8 号叶 Cucumber var. Zhongnong 8 leaf	$y = 0.0048x - 0.0356$ ($R^2 = 0.9861$)	7.4	208.0	本研究 This study
西花蓟马 *F. occidentalis*	10, 15, 20, 25, 30, 35	菊花叶 Chrysanthemum leaf	$y = 0.0037x - 0.029$ ($R^2 = 0.9460$)	7.9	268.0	McDonald *et al.*, 1998
棕榈蓟马 *Thrips palmi*	15, 21, 23, 30	豆角 Bean pod	$y = 0.0049x - 0.0463$ ($R^2 = 0.9922$)	10.1	194.0	McDonald *et al.*, 1999
烟蓟马 *Thrips tabaci*	15, 20, 23, 25, 30	茶花粉 Tea pollen	$y = 0.0043x - 0.0463$ ($R^2 = 0.9300$)	10.8	232.6	Murai, 2000
西花蓟马 *F. occidentalis*	–	菊花叶 Chrysanthemum leaf	–	10.0	213.0	Robb, 1989
西花蓟马 *F. occidentalis*	–	花生叶 Peanut leaf	–	6.5	253.9	Lowry *et al.*, 1992
西花蓟马 *F. occidentalis*	15, 18, 20, 23, 25, 30	黄瓜 Pepinex 叶 Cucumber var. Pepinex leaf	$y = 0.0045x - 0.0443$ ($R^2 = 0.9872$)	9.4	240.0	Gaum *et al.*, 1994
西花蓟马 *F. occidentalis*	15, 20, 25, 30	菜豆叶 *Phaseolus bulgaris* leaf	$y = 0.00463x - 0.0333$ ($R^2 = 0.9897$)	6.23	219.7	刘丽辉等, 2008

寄主，西花蓟马在我国华南、西南、华中地区最多可发生 13 ~ 26 代(表 4)，与程俊峰等(2006a, 2006b)预测分析吻合。而在华北地区，本研究预测西花蓟马在北京田间可发生 13 ~ 14 代，危害相当严重，符合本实验室近几年在北京的监测结果(另文发表)。北京等地区 12 月及翌年 1，2 和 3 月的有效积温虽然不能够满足西花蓟马完成发育所需能量，但不能够妨碍它在田间的存在，因为近年温室等设施农业的发展可能为西花蓟马越冬提供有利场所，从而导致西花蓟马及其传播的番茄斑萎病毒 4 和 5 月份在北京温室等设施内的黄瓜和甜椒作物上暴发成灾(实验室观察)。根据 McDalnond 等(1997a)报道在英国北部寒冷地区(月最高气温约 17℃)发现西花蓟马能以成虫在冬小麦上取食越冬，我国西花蓟马在华北或以北地区，在食物充足条件下，田间是否可能以成虫等活跃虫态越冬，或者越冬是否必需有温室等设施，这些问题有待进一步验证。

参考文献(References)

Birch LC, 1948. The intrinsic rate of natural increase of an insect population. *J. Anim. Ecol.*, 17: 15 – 26.

Brodgaard HF, 1989. *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) – a new pest in Danish glasshouse. *Tidsskrift för Planteavl*, 93: 83 – 91.

Cheng JF, Wan FH, Guo JY, 2006a. Potential distribution of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) in China by using combined CLIMEX and GIS tool. *Scientia Agricultura Sinica*, 39(3): 525 – 529. [程俊峰，万方浩，郭建英，2006a. 西花蓟马在中国适生区的基于 CLIMEX 的 GIS 预测. 中国农业科学，39(3): 525 – 529]

Cheng JF, Wan FH, Guo JY, 2006b. Analysis of potential distribution of the invaded insect *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) in China. *Acta Entomologica Sinica*, 49(3): 438 – 446. [程俊峰，万方浩，郭建英，2006b. 入侵昆虫西花蓟马的潜在适生区分析. 昆虫学报，49(3): 438 – 446]

Daughtrey ML, Jones RK, Moyer JW, Daub ME, Baker JR, 1997. Tospoviruses strike the greenhouse industry: INSV has become a major pathogen on flower crops. *Plant Dis.*, 81: 1220 – 1230.

Gai HT, Zhi JR, Li ZX, Jiang YJ, 2010. Survival rates of *Frankliniella occidentalis* and *F. intonsa* after exposure to adverse temperature conditions. *Chinese Journal of Ecology*, 29(8): 1533 – 1537. [盖海涛，郅军锐，李肇星，蒋永金，2010. 西花蓟马和花蓟马在温度逆境下的存活率比较. 生态学杂志，29(8): 1533 – 1537]

Gaum WG, Giliomee JH, Pringle KL, 1994. Life history and life tables of western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae), on English cucumber. *Bull. Entomol. Res.*, 84: 219 – 224.

German TL, Ullman DE, Moyer JW, 1992. Tospoviruses: diagnosis, molecular biology, phylogeny, and vector relationships. *Annu. Rev. Phytopathol.*, 30: 315 – 348.

Hu ZZ, Feng ZK, Zhang ZJ, Lu YB, Tao XR, 2011. Complete genome sequence of a tomato spotted wilt virus isolate from China and comparison to other TSWV isolates of different geographic origin. *Arch. Virol.*, 156(10): 1905 – 1908.

Ishida H, Murai T, Sonoda S, Yoshida H, Izumi Y, Tsumuki H, 2003. Effects of temperature and photoperiod on development and oviposition of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae). *Appl. Entomol. Zool.*, 38(1): 65 – 68.

Kirk WDJ, Terry LI, 2003. The spread of the western flower thrips *Frankliniella occidentalis* (Pergande). *Agric. Forest Entomol.*, 5: 301 – 310.

Li HB, Shi L, Wang JJ, Du YZ, 2011. Impact of temperature hardening on thermal tolerance and reproduction in *Frankliniella occidentalis*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(3): 530 – 535. [李鸿波，史亮，王建军，杜予州，2011. 温度锻炼对西花蓟马温度耐受性及繁殖的影响. 应用昆虫学报，48(3): 530 – 535]

Li JZ , Zhi JR, Gai HT, 2011. Effects of host plants and temperature on *Frankliniella occidentalis* growth and development. *Chinese Journal of Ecology*, 30(3): 558 – 563. [李景柱，郅军锐，盖海涛，2011. 寄主和温度对西花蓟马生长发育的影响. 生态学杂志，30(3): 558 – 563]

Liu LH, Zhang F, Wu ZQ, 2008. Effect of temperatures on the development and survival rate of western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande). *Acta Ecologica Sinica*, 28(10): 4891 – 4895. [刘丽辉，张帆，吴珍泉，2008. 温度对西花蓟马(*Frankliniella occidentalis*)生长发育和存活率的影响. 生态学报，28(10): 4891 – 4895]

Loomans AJM, van Lenteren JC, 1995. Biological control of thrips pests: a review on thrips parasitoids. *Wageningen Agricultural University Papers*, 95: 189 – 201.

Lowry VK, Smith JW, Mitchell FL, 1992. Life-fertility tables for *Frankliniella fusca* (Hinds) and *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) on peanut. *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 85: 744 – 754.

Lu YB, Zhang ZJ, Wu QJ, Du YZ, Zhang HR, Yu Y, Wang ED, Wang MH, Wang MQ, Tong XL, Lu LH, Tan XQ, Fu WD, 2011. Research progress of the monitoring, forecast and sustainable management of invasive alien pest *Frankliniella occidentalis* in China. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(3): 488 – 496. [吕要斌，张治军，吴青君，杜予州，张宏瑞，于毅，王恩东，王鸣华，王满囷，童晓立，吕利华，谭新球，付卫东，2011. 外来入侵害虫西花蓟马防控技术研究与示范. 应用昆虫学报，48(3): 488 – 496]

McDonald JR, Bale JS, Walters KFA, 1997a. Low temperature mortality and overwintering of the western flower thrips *Frankliniella occidentalis* (Pergande). *Bull. Entomol. Res.*, 87: 497 – 505.

McDonald JR, Bale JS, Walters KFA, 1997b. Rapid cold hardening in the western flower thrips *Frankliniella occidentalis*. *J. Insect Physiol.*, 43: 759 – 766.

McDonald JR, Bale JS, Walters KFA, 1997c. Effects of sub-lethal cold stress on the western flower thrips *Frankliniella occidentalis*. *Ann. Appl. Biol.*, 131: 189 –195.

McDonald JR, Bale JS, Walters KFA, 1998. Effect of temperature on development of the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae). *Eur. J. Entomol.*, 95(2): 301 –306.

McDonald JR, Bale JS, Walters KFA, 1999. Temperature, development and establishment potential of *Thrips palmi* (Thysanoptera: Thripidae) in the United Kingdom. *Eur. J. Entomol.*, 96: 169 –173.

Mollema C, Steenhuis G, van Rijn SP, 1990. Development of a method to test resistance to western flower thrips *Frankliniella occidentalis* in cucumber. *IOBC/WPRS Bulletin*, 13(6): 113 –116.

Moritz G, 2002. The biology of thrips is not the biology of their adults: a developmental view. In: Marullo R, Mound L eds. Thrips and Tospoviruses: Proceedings of the 7th International Symposium on Thysanoptera Australian National Insect Collection (ANIC), Canberra. 259 –267.

Murai T, 2000. Effect of temperature on development and reproduction of the onion thrips, *Thrips tabaci* Lindeman (Thysanoptera: Thripidae), on pollen and honey solution. *Appl. Entomol. Zool.*, 35: 499 –504.

Riley DG, Joseph SV, Srinivasan R, Diffie S, 2011. Thrips vectors of tospoviruses. *J. Integrated. Pest Manag.*, 2(1): 1 –10.

Robb KL, 1989. Analysis of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) as a pest of floricultural crops in California greenhouses. PhD Dissertation, California, University of Riverside.

SAS Institute, 1996. SAS User's Guide, Statistics. SAS Institute, Cary, NC.

Ullman DE, Sherwood JL, German TL, 1997. Thrips as vectors of plant pathogens. In: Lewis T ed. Thrips as Crop Pests. CAB International, United Kingdom. 539 –565.

van Rijnp CJ, Mollema C, Steenhuis-Broers GM, 1995. Comparative life history studies of *Frankliniella occidentalis* and *Thrips tabaci* (Thynsanoptera: Thripedae) on cucumber. *Bull. Entomol. Res.*, 85: 285 –297.

Whitfield AE, Ullman DE, German TL, 2005. Tospovirus-thrips interactions. *Annu. Rev. Phytopathol.*, 43: 459 –489.

Zhang SM, 1998. Geographical Division of Forestry Insects in China. China Agriculture Press, Beijing. [章士美, 1998. 中国农林昆虫地理区划. 北京: 中国农业出版社]

Zhang YJ, Wu QJ, Xu BY, Zhu GR, 2003. Dangerous alien invasive species – occurrence and damages of *Frankliniella occidentalis* in Beijing. *Plant Protection*, 29(4): 58 –59. [张友军, 吴青君, 徐宝云, 朱国仁, 2003. 危险性外来入侵生物——西花蓟马在北京发生危害. 植物保护, 29(4): 58 –59]

Zhang ZJ, Wu QJ, Li XF, Zhang YJ, Xu BY, Zhu GR, 2007. Life history of western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Thysan., Thripae), on five different vegetable leaves. *J. Appl. Entomol.*, 131(5): 347 –354.

（责任编辑：武晓颖）